

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 03-283476

(43)Date of publication of application : 13.12.1991

(51)Int.Cl.

H01L 41/12
G01L 3/10

(21)Application number : 02-168401

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 28.06.1990

(72)Inventor : HIRAI TAKATOMO
SAHASHI MASASHI
KOBAYASHI TADAHIKO

(30)Priority

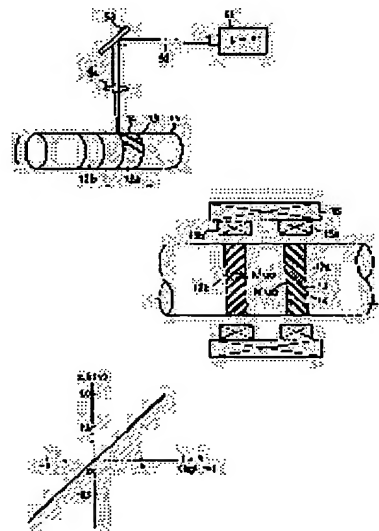
Priority number :	01169620	Priority date :	30.06.1989	Priority country :	JP
	01297581		17.11.1989		JP
	01297732		17.11.1989		JP
	01297733		17.11.1989		JP
	01298941		17.11.1989		JP
	02 38263		21.02.1990		JP
	02 84656		30.03.1990		JP

(54) INTRODUCTION OF MAGNETIC ANISOTROPY INTO MAGNETIC SUBSTANCE

(57)Abstract:

PURPOSE: To enable anisotropy to be easily and surely introduced into a magnetic substance by a method wherein the surface of the magnetic substance is selectively and locally heated to form a boundary phase pattern which magnetically divides the main phase of the magnetic substance into two or more regions.

CONSTITUTION: When a uniaxial magnetic anisotropy (Ku10, Ku20) is introduced, a target of specific form is set in a RF magnetron sputtering device, and a pair of magnetic substances formed of amorphous alloy thin film is formed on two points on the surface of a shaft 11 formed of ferromagnetic material 20mm in diameter. Then, the shaft 11 is made to move in a lengthwise direction as rotated, a laser beam 52 emitted from a laser 51 is reflected by a mirror 53 and converged through a lens 54 to irradiate magnetic substances 12a and 12b provided onto the surface of the shaft 11. An amorphous boundary phase 6 whose magnetic properties are different from those of an amorphous primary phase 13 is formed on the irradiated region, and the boundary phases 14 are arranged in stripes. A laser beam irradiation direction is coincident with the direction of an easy magnetization axis, so that a uniaxial magnetic anisotropy is introduced in a direction vertical to the scanning direction of a laser beam. A torque sensor formed as above is has a torque detection characteristic excellent in linearity. Furthermore, a magnetic field and a stress are applied while a magnetic substance is locally heated, or a magnetic substance is locally heated in an atmosphere in which compound is induced in the magnetic substance, or these methods are combined to be employed, whereby a complicated magnetic anisotropy can be easily introduced.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

BEST AVAILABLE COPY

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 特 許 公 報 (B 2)

(11) 特許番号

第2965628号

(45) 発行日 平成11年(1999)10月18日

(24) 登録日 平成11年(1999)8月13日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 41/12

H 0 1 L 41/12

G 0 1 L 3/10

G 0 1 L 3/10

A

請求項の数 6 (全 24 頁)

(21) 出願番号 特願平2-168401

(22) 出願日 平成2年(1990)6月28日

JP 03-283476 A

(65) 公開番号 特開平3-283476

(43) 公開日 平成3年(1991)12月13日

審査請求日 平成9年(1997)4月14日

(31) 優先権主張番号 特願平1-169620

(32) 優先日 平1(1989)6月30日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平1-297581

(32) 優先日 平1(1989)11月17日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平1-297732

(32) 優先日 平1(1989)11月17日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(73) 特許権者 999999999

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 平井 隆大

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地

株式会社東芝総合研究所内

(72) 発明者 佐橋 政司

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地

株式会社東芝総合研究所内

(72) 発明者 小林 忠彦

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地

株式会社東芝総合研究所内

(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外3名)

審査官 大日方 和幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁性体を構成要素とするセンサの製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁性体を構成要素とするセンサを製造するにあたり、前記磁性体の表面を選択的に局所加熱し、前記磁性体の主相を磁氣的に複数の領域に分割する境界相のパターンを形成し、前記分割された主相領域に磁気異方性を生じさせることを特徴とする磁性体を構成要素とするセンサの製造方法。

【請求項2】 磁性体に磁場を印加することを特徴とする請求項(1)記載の磁性体を構成要素とするセンサの製造方法。

【請求項3】 磁性体に応力を印加することを特徴とする請求項(1)記載の磁性体を構成要素とするセンサの製造方法。

【請求項4】 磁性体を、その酸化物相、窒化物相または還元相が生成される雰囲気中で局所加熱することを特徴

とする請求項(1)記載の磁性体を構成要素とするセンサの製造方法。

【請求項5】 前記分割された主相領域に、前記境界相の方向と平行な方向または垂直な方向に磁気異方性を生じさせることを特徴とする請求項(1)記載の磁性体を構成要素とするセンサの製造方法。

【請求項6】 前記磁性体の表面を選択的に局所加熱することにより、前記磁性体の主相を磁氣的に複数の領域に分割する境界相のパターンを形成するとともに前記分割された主相領域に磁気異方性を生じさせることを特徴とする請求項(1)記載の磁性体を構成要素とするセンサの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【発明の目的】

(産業上の利用分野)

本発明は磁性体に磁気異方性を導入する方法に関する。具体的には、各種センサなどの構成要素として用いられる磁性体に磁気異方性を導入する方法に関する。

(従来の技術)

近年、磁気異方性が導入された磁性体を構成要素とする各種センサ（例えばトルクセンサ、歪みセンサ、電流センサ）が開発されている。これらのセンサでは、測定すべき外部エネルギー（例えば軸に加えられるトルク、平板に加えられる歪み、導体を流れる電流）の変化を、磁気異方性が導入された磁性体の磁化容易軸の方向における磁気特性（例えば透磁率）の変化に変換し、この磁気特性の変化を検出することにより、各種外部エネルギーの大きさを検出している。

これらのセンサを構成する磁性体には、予め一軸磁気異方性を導入しておく必要がある。従来、磁性体に一軸磁気異方性を導入するには、以下のような方法が用いられているが、これらの方法にはいずれも問題がある。ここではトルクセンサを構成する軸の表面の磁性体に一軸磁気異方性を導入する場合について説明するが、他のセンサを構成する磁性体に一軸磁気異方性を導入する場合にも、同様な方法が用いられる。

①軸の径に合わせて非晶質磁性合金からなる環状の磁性体を作製し、熱処理して内部応力を除去した後、軸にねじりを与えた状態でこれを接着し、軸のねじりを戻す方法。しかし、この方法では、予め軸の径に合わせて環状の磁性体を作製する必要がある、軸にねじりを与える必要がある、など工程の煩雑化を招くという問題がある。

②磁性体に、磁界中熱処理・冷却を施すことにより、一軸磁気異方性を導入する方法。しかし、この方法では、非常に手間がかかり量産性に欠ける上、長尺の磁性体は、熱処理をすることが困難であるため、磁性体の寸法及び形状が制限される。また、非晶質合金薄帯では、その全体が熱処理を受けると、脆くなるという問題がある。

③熱間静水圧縮法（HIP）により、軸に非晶質合金を接合し、結晶化した後、この合金の一部にレーザーパルス照射して縞状に非晶質化する方法（特開昭63-280476号公報）。この方法では、磁性体は結晶質相と非晶質相とが交互に縞状に配列された構造となるため、磁気異方性を導入することができる。また、この方法では、磁性体の接合耐久性が良好となる。しかし、この方法では、必ずしも十分な磁気異方性を導入することができないという問題がある。

(発明が解決しようとする課題)

以上のように、磁気異方性が導入された磁性体を構成要素とする各種センサなどの実用化にあたっては、磁性体への磁気異方性の導入に対する対策が非常に重要である。

本発明の目的は、磁性体に十分な磁気異方性を容易かつ確実に導入することができる方法を提供することにあ

る。

[発明の構成]

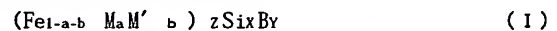
(課題を解決するための手段)

本発明の磁性体を構成要素とするセンサの製造方法は、磁性体を構成要素とするセンサを製造するにあたり、前記磁性体の表面を選択的に局所加熱し、前記磁性体の主相を磁気的に複数の領域に分割する境界相のパターンを形成し、前記分割された主相領域に磁気異方性を生じさせることを特徴とする。

以下、本発明に更に詳細に説明する。

本発明において、磁気異方性が導入される磁性体は、例えば各種センサの構成要素として用いられる。例えば、トルクセンサの場合、軸自体が磁性体でもよいし、トルクセンサの軸の表面に、磁性体の薄帯を接着したり、磁性体の薄膜を形成してもよい。軸の表面に磁性体の薄膜を形成する方法としては、①スパッタ法などの気相成長法、めっき法、溶射法、溶接法による方法；②軸の表面に磁性体粉末を供給しながら、レーザービームを照射する方法；③熱間静水圧縮法（HIP）による方法；が挙げられる。磁性体は、非晶質又は結晶質合金、酸化物磁性体などの化合物磁性体のいずれでもよい。前記の方法において、軟磁気特性を示す磁性体を得られるように、製造に関するパラメータ（例えばスパッタ法におけるAr圧など）を最適に選択することが好ましい。また、結晶質磁性体を形成した後は、歪み取り熱処理を施すことが好ましい。

非晶質合金の組成は特に限定されるものではない。磁歪の大きい非晶質合金としては、式（I）で表される組成を有するものが望ましい。



(ただし、M:Co又はNiの少なくとも1種、M':Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Re、Ru、Rh、Ir、Pt、Ag、Au、Cu、Zn、Al、Ga、In、Ge、Sn、Pd、Sb、Bi、Y、希土類金属のうちから選択される少なくとも1種、

M=Niの場合、 $0.1 \leq a \leq 0.4$ 、

M=Coの場合、 $0.2 \leq a \leq 0.99$ 、

$0 \leq b \leq 0.15$ 、 $0 \leq x \leq 20$ 、 $4 \leq y \leq 35$ 、 $x+y+z=100$)

このようなFe系の非晶質合金に対しては、従来の磁界中熱処理では、誘導磁気異方性の導入が困難であった。一方、本発明の方法では、式（I）で表わされる広い組成範囲のFe系の非晶質合金にも十分な磁気異方性を導入できる。特に、スパッタ法などの方法で非晶質磁性体を形成する場合には、組成範囲を広くとることができる。ただし、急冷ロール法によって薄帯状の非晶質磁性体を製造する場合には、非晶質形成能によって制限されるため、若干組成範囲が限定される。

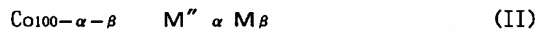
式（I）において、Mは大きな誘導磁気異方性 K_{u0} を得るための必須成分であり、Co又はNiの少なくとも1種

が用いられる。従来の磁界中熱処理では、Mの含有量がある範囲を逸脱すると、大きな誘導磁気異方性が得られない。一方、本発明の方法では、前記のように広い範囲でMを含有することができる。

式(I)において、Bは合金の非晶質化のために必須の元素である。Bの含有量を示すYは、4以上であることが必要である。Siは結晶化温度を上昇させる作用を有する元素である。Siの含量を示すXが20を超えると、飽和磁化が小さくなり、良好な磁気特性を得ることが困難になる。なお、BとSiとの合計量が多すぎると磁気特性を損なうので、X+Yは35を超えないことが好ましい。

式(I)において、M'は非晶質磁性体の結晶化温度を高くし、熱安定性を向上させ、熱膨張係数の大きさを調整し、耐食性を改善する作用を有する元素である。M'としては、前述した各種元素のうちから選択される少なくとも1種が用いられる。

式(I)で表わされる金属-半金属系の非晶質合金のほかにも、式(II)で表わされる金属-金属系の非晶質合金を用いることもできる。



(ただし、M''はNb、Ti、Hf、Zr、Yから選択される少なくとも1種、

MはFe、Co、Ni、V、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Re、Rh、Ir、Pb、Pt、Ag、Au、Cu、Zn、Al、Ga、In、Ge、Sn、Pb、Bi、希土類金属のうちから選択される少なくとも1種、

$$2 \leq \alpha \leq 25, 0 \leq \beta \leq 30)$$

式(II)で表わされる非晶質合金ではCoが必須の元素である。Coの一部と置換されるM''は非晶質金属化に必須の元素である。 α が2未満では非晶質金属が得られない。 α が25を超えると非晶質金属が得られなくなるうえ、飽和磁化(Ms)が大幅に低下してセンサの用途には不適当である。

式(II)において、MはM''による非晶質金属化の作用を促進し、かつセンサとして必要な磁歪値の制御を容易にする作用を有する元素である。ただし、Mを含まないCo-M''系の非晶質合金でもよい。 β が30を超えるとセンサとして必要な磁歪値が得られなくなるうえ、非晶質化が困難になる。

結晶質磁性体としては、パーマロイなどが挙げられる。酸化物磁性体としてはフェライトなどが挙げられる。

本発明の方法をトルクセンサの製造に応用する場合、軸に磁性体薄帯を接着したり磁性体薄膜を形成した後、これらに磁気異方性を導入してもよいし、薄帯状の磁性体予め磁気異方性を導入した後、これを軸に接着してもよい。

本発明において、磁性体に磁気異方性を導入するために、その表面を局所加熱する手段は、加熱可能なエネルギービームであれば特に限定されない。例えば、YAGレ

ーザやCO₂レーザーなどのレーザービーム、イオンビーム、電子線ビーム、赤外線ビームなどが挙げられる。エネルギービームが照射された領域では、磁性体を構成する主相の構造が変化し、主相とは磁気特性の異なる境界相が形成される。例えば非晶質の主相が構造緩和されて、主相とは磁気特性の異なる非晶質又は結晶質の境界相が形成される。また、部分的なアニール又は溶融に起因して内部応力が残留し、主相に応力誘起磁気異方性が導入されることも考えられる。磁性体を構成する主相及び境界相の組み合わせは、主相-非晶質相、境界相-非晶質相、主相-非晶質相、境界相-結晶質相、主相-結晶質相、境界相-結晶質相、のいずれでもよい。主相と境界相との磁気特性、例えば保磁力の違いは、5%以上であることが好ましい。

磁性体にエネルギービームを照射する際には、エネルギービームのスポットを連続的に走査してもよいし、非連続的に走査してもよい。それに応じて、境界相の形状は、線状又は点状になる。また、エネルギービームのスポットは、所定の方向に沿って、間隔(ピッチ)を隔てて走査する。操作の容易さ、及び十分な磁気異方性を導入できることを考慮すると、線状の境界相のストライプパターンを形成することが好ましい。

このような操作により、例えば磁性体の主相の磁区制御がなされ、所定方向に沿って一軸磁気異方性を導入することができる。このように主相の磁気特性を制御するためには、磁性体中で境界相を占める面積の割合は50%未満、更に30%以下であることが好ましい。なお、磁性体に導入される一軸磁気異方性の方向は、エネルギービームのスポット径(境界相の幅)、走査ピッチ(隣接する境界相間の間隔)などに応じて、エネルギービームの走査方向の場合もあれば、それに対する垂直方向の場合もあるなど、種々変更ができる。また、一軸磁気異方性を生じさせる方向は、例えばセンサとして使用する場合の主応力方向が好ましいが、特に限定されない。また、例えばエネルギービームの走査速度によっても、境界相の構造が変化し、それに伴って境界相の磁気特性も変化する。したがって、スポット径に応じて走査ピッチを変更させるなど、エネルギービームの照射条件を適当に設定することが好ましい。具体的には、エネルギービームのスポット径(境界相の幅)は1 μ m~1mmであることが好ましく、エネルギービームの走査ピッチ(隣接する境界相間の間隔)は50 μ m~10mmであることが好ましい。更に、境界相の幅は100 μ m以下、隣接する境界相間の間隔は200 μ m以上であることが好ましい。ただし、間隔があきすぎると、境界相による分割効果が表われにくくなるので、2mm以下であることが好ましい。

前述した特開昭63-280476号公報に開示された方法では、レーザービームが照射された領域(非晶質相)によって磁性体の磁気特性が支配され、レーザービームの走査方向に磁気異方性が付与される。これに対して、本発明の

方法では、磁性体を局所加熱して境界相のパターンを形成すると、未加熱部分である主相が磁性体の磁気特性を支配し、条件によっては走査方向及びその垂直方向のいずれにも磁気異方性が導入できる。そのメカニズムとしては、前述したように磁区再配列、応力誘起磁気異方性などが考えられる。このように、両者の方法では、磁気異方性が導入されるメカニズムが異なっている。また、本発明の方法では連続的な処理ができるため、従来の境界中熱処理のように処理装置の大きさによって磁性体の寸法が制限されることもない。

本発明においては、磁性体にエネルギービームを照射する際に、磁性体に磁場を印加する；磁性体に応力を印加する；磁性体に磁場及び応力を印加するという方法を組み合わせてもよい。応力の大きさは、磁性体の破壊強度にもよるが、 $0.1 \sim 150 \text{ kg/mm}^2$ の範囲が好ましい。これらの方法を併用すれば、エネルギービームの照射による誘導磁気異方性、磁場による誘導磁気異方性、応力による応力誘起磁気異方性を組み合わせることができ、複雑な磁気異方性でも容易に導入することができる。

また、本発明においては、磁性体の化合物が生成する雰囲気中で、磁性体にエネルギービームを照射してもよい。その雰囲気としては、酸化性雰囲気、窒素雰囲気が挙げられる。また、酸化物磁性体に対しては、還元性雰囲気を用いることもできる。酸化性雰囲気は、大気でもよいが、酸化の目的から O_2 が50%以上であることが好ましい。窒素雰囲気は、大気でもよいが、窒化の目的から、 N_2 が90%以上であることが好ましく、また高圧をかけることが好ましい。ただし、工程を単純化するために、特に高圧を加えなくても支障はない。還元性雰囲気としては、水素雰囲気などが挙げられる。

酸化性雰囲気を用いた場合には、エネルギービームが照射された領域では、高温酸化が進み、主相から組成及び構造が変化し、主相とは磁気特性の異なる、酸化物相を含む境界相が形成される。

窒素雰囲気を用いた場合には、エネルギービームが照射された領域では、高温で窒化が急速に進行し、主相から組成及び構造が変化し、主相とは磁気特性の異なる、窒化物相を含む境界相が形成される。

酸化物磁性体に対して還元性雰囲気を用いた場合には、エネルギービームが照射された領域では、酸化物の還元が進み、主相から組成及び構造が変化し、主相とは磁気特性の異なる、還元相を含む境界相が形成される。

以上のようにして一軸磁気異方性が導入された磁性体は、トルクセンサ、歪みセンサ、電流センサなどのセンサや、磁気コアなどに応用される。

例えば、トルクセンサの原理について、第3図を参照して説明する。第3図において、軸11の表面には磁性体12が固定されている。この磁性体12には、予め軸11の周方向に対して角度 θ ($\neq 0$) の方向を磁化容易軸とする一軸磁気異方性 K_{u0} が付与されている。また、この磁性

体12に近接して、例えば励磁コイル及び検出コイルが配置され、この検出コイルは検出回路に接続されている（図示せず）。

このような構成のトルクセンサを用い、以下のようにしてトルクを検出することができる。ここで、説明を簡単にするために、 $\theta = 45^\circ$ 、飽和磁歪定数 $\lambda_s > 0$ とする。いま、軸11に破線矢印で示すトルク T が加わると、軸11に発生した表面歪み応力 σ が磁性体12に伝達され、磁性体12には軸11の周方向に対して $+45^\circ$ の方向に張力 σ が、 -45° の方向に圧縮応力 $-\sigma$ がそれぞれ発生する。これに伴って、磁性体12には磁気歪み効果によって、 $+45^\circ$ の方向に応力誘起磁気異方性 K_{us} ($K_{us} = 3 \lambda_s \cdot \sigma$) が誘導される。この結果、 K_{u0} と K_{us} とが合成されて一軸磁気異方性は K_{ux} に変化する。この場合、磁性体12の内部を通過する磁束の向きが一定であれば、一軸磁気異方性が変化することにより、磁性体12における磁束貫通方向の透磁率が変化する。したがって、この透磁率変化を、検出コイル及びこれに接続された検出回路により測定することができ、その値から軸11に加えられたトルク T を求めることができる。

このようなトルクセンサにより、正転時及び逆転時のトルクを直接性よく検出するためには、軸11の周方向に対してそれぞれ $+\theta$ 及び $-\theta$ (0° 、 90° 、 180° 、 270° を除く)の方向に予め一軸磁気異方性 K_{u0} を付与した1対の磁性体と、これらの磁性体の磁気特性変化を検出するための差動結合された1対の検出コイル又は検出ヘッドを用いてトルクセンサを構成する必要がある。

同様に、他のセンサでも、目的とする外部エネルギーを検出するために、磁性体の磁気異方性が利用される。

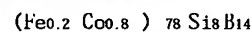
(実施例)

以下、本発明を実施例に基づいて詳細に説明する。以下の実施例では、主に、トルクセンサに使用される磁性体に磁気異方性を導入する場合について説明する。

実施例1

軸の表面に形成された磁性体を局所加熱して磁気異方性を導入する方法について説明する。

RFマグネトロンスパッタ装置に、特殊形状のターゲットをセットし、強磁性体(S45C)からなる直径20mmの軸の表面の2個所に、



なる組成を有する、幅10mm、厚さ $15 \mu\text{m}$ の非晶質合金薄膜からなる1対の磁性体を形成する。

第1図の装置を用いて、これらの磁性体に磁気異方性を導入する。軸11を回転させかつ長さ方向へ移動させながら、レーザ51から放射されるレーザビーム52を、ミラー53で反射させ、レンズ54で集束させて軸11の表面の磁性体12a、12bに照射する。この場合、レーザビームのスポット径を $100 \mu\text{m}$ とし、 3 m/min の走査速度で連続的に照射する。レーザビームの走査方向は、軸11の周方向に対して、磁性体12aでは $+45^\circ$ 、磁性体12bでは -45° の

方向とし、前述した操作を1mmピッチで繰返す。この結果、レーザビームが照射された領域では構造緩和が起こり、非晶質の主相13とは異なる磁気特性を有する、非晶質の境界相16が形成され、これらの境界相14がストライプ状に配列された構造となる。

このように、磁気特性の異なる2種の非晶質相、すなわち主相13及び境界相14を有する磁性体の表面の磁区のモデルを第2図に示す。第2図に示されるように、磁区のパターンははしご状又はステップラダー状であり、レーザビーム照射方向に対応して磁区制御がなされている。そして、レーザビーム照射方向が磁化容易軸方向となり、軸11の周方向に対して、磁性体12aでは $+45^\circ$ の方向に一軸磁気異方性 $\blacktriangle K^1_{110} \nabla$ が、磁性体12bでは -45° の方向に一軸磁気異方性 $\blacktriangle K^2_{110} \nabla$ が導入される。

なお、磁性体に磁気異方性が導入される方向は、レーザビームのスポット径、走査速度、照射ピッチなどによって異なる。例えばYAGレーザを用い、スポット径50 μ mのレーザビームを10m/minで走査させる操作を0.5mmピッチで繰返して施すと、レーザビームの走査方向と直交する方向に磁気異方性が導入される。すなわち、磁性体12aでは -45° の方向に、磁性体12bでは $+45^\circ$ の方向に一軸磁気異方性が導入される。

この例において作製されたトルクセンサの構成を、第4図に示す。磁気異方性が導入された1対の磁性体12a、12bが形成された軸11の外周に、磁性体12a、12bに非接触の状態、円筒状の検出コイル15a、15bが設けられている。また、検出コイル15a、15bの外周には円筒状の励磁コイル16が設けられている。これら検出コイル15a、15b及び励磁コイル16は、非磁性体からなる巻枠に0.3mm径の銅線を、検出コイル15a、15bの場合100回、励磁コイル16の場合300回巻回したものである。

第5図は、このトルクセンサの回路構成を示すブロック図である。発振器21にて100kHzの正弦波励磁電流を発生させ、増幅器22にて増幅し、励磁コイル16に印加すると、磁性体12a、12bには交番磁界が加わる。軸11にトルクが加わると、前述した原理に従って、磁束貫通方向に沿う磁性体12a、12bの透磁率が変化する。この変化に対応して、検出コイル15a、15bにより信号が検出される。これらの信号は、差動増幅器23、24、25により増幅され、同期検波器26にて整流される。このようにして、トルク変化に応じて変化する直流の電圧出力が得られる。

このトルクセンサにより、トルクを検出した結果を第6図に示す。第6図から明らかなように、このトルクセンサの出力は、広いトルク範囲にわたって良好な直線性を示す。

第7図に、境界相のパターンを形成する際のレーザビーム走査速度と、センサ感度との関係を示す。第7図から明らかなように、良好なセンサ感度を得るために、最

適なレーザビーム走査速度が存在する。

このことは、レーザビーム走査速度に応じて、境界相の非晶質構造が変化し、それに伴って磁性体の磁気特性が変化することによると考えられる。通常のX線回折により、40kV、20mA、Cu線源という条件で磁性体の結晶構造を調べた結果、以下のことが判明している。第7図の左端の場合にはレーザビームが照射された境界相領域は結晶化している。一方、最適なレーザビーム走査速度を含む、その他の走査速度の範囲においては、境界相は結晶化されず、磁性体全体が非晶質であることが認められる。つまり、レーザビーム走査速度が小さい場合、局所加熱の影響が大きく、レーザビーム照射領域は結晶化される。一方、良好な感度が得られる、最適な走査速度範囲の場合、走査速度が大きいため、局所加熱されてもその領域は構造緩和される程度で、結晶質相は生成しない。しかし、主相と、レーザビーム照射により構造緩和された境界相とは、両者とも非晶質ではあるが、互いに磁気特性が異なっている。

ただし、レーザビーム走査速度を第7図に示す広い範囲で変化させても、直線性の良いトルク検出特性が得られる。例えば、YAGレーザを用い、スポット径100 μ mのレーザビームを1m/minで走査させる操作を1mmピッチで繰返して施す(第7図の左端の条件)。この場合、前述したように、レーザビームが照射された領域は結晶化し、非晶質の主相とは異なる磁気特性を有する、結晶質の境界相が形成され、これらの境界相がストライプ状に配列された構造となる。このように、主相が非晶質、境界相が結晶質の場合でも、直線性の良いトルク検出特性が得られる。

なお、レーザビーム走査速度は、レーザビームのパワー、照射領域の熱容量及び熱伝導性などに大きく依存するので、これらの条件に応じて、良好なセンサ感度が得られるような最適なレーザビーム走査速度を決定することが好ましい。また、レーザビームを照射するピッチは50 μ m \sim 10mmであることが好ましい。ピッチが50 μ m未満では第2図に示したような磁区パターンを得ることができない。ピッチが10mmを超えると充分な磁気異方性を導入することができない。このため、いずれの場合も、良好なトルクセンサが得られない。境界相領域の幅は1 μ m \sim 0.2mmであることが好ましい。また、境界相領域は必ずしも線状である必要はなく、磁気異方性が生じさえすれば、点状でもよい。

更に、式(1)で表わされる各種組成の非晶質合金に、前記と同様にしてレーザビームを照射することにより、非晶質の境界相をストライプ状に形成して磁気異方性を導入する。そして、第4図と同様なトルクセンサを作製する。これらのトルクセンサの感度を測定した結果を第1表に示す。

第 1 表

No	組 成	センサ感度 (mV/kgf-m)
1	(Fe _{0.75} Ni _{0.25}) ₇₅ Si ₉ B ₁₇	500
2	(Fe _{0.8} Co _{0.2}) ₇₈ Si ₁₀ B ₁₂	850
3	Co ₆₀ Fe ₂₀ B ₂₀	350
4	(Fe _{0.1} Co _{0.9}) ₇₈ Si ₁₀ B ₁₂	500
5	(Fe _{0.5} Co _{0.5}) ₈₁ Si ₁₀ B ₉	900
6	(Fe _{0.3} Ni _{0.2} Co _{0.5}) ₇₈ Si ₁₁ B ₁₁	400
7	(Fe _{0.65} Ni _{0.3} Cr _{0.05}) ₈₀ Si ₁₀ B ₁₀	500
8	(Fe _{0.35} Co _{0.6} Nb _{0.05}) ₈₀ Si ₁₀ B ₁₀	450
9	Fe ₄ Co ₇₀ Mn ₄ B ₂₆	500
10	(Fe _{0.2} Co _{0.8}) ₇₈ Si ₈ B ₁₄	700
11	Fe ₇₇ Si ₈ B ₁₅	750

また、Co₈₀Zr₁₅Fe₅なる組成を有する非晶質合金に、走査速度を6m/minとした以外は、前記と同様にしてレーザービームを照射することにより、非晶質の境界相をストライプ状に形成して磁気異方性を導入する。そして、第4図と同様なトルクセンサを作製する。このトルクセンサにより、トルクを検出した結果を第8図に示す。このトルクセンサについて、レーザービーム走査速度と、感度との関係を第9図に示す。これらの結果から、前記と同

様に優れたトルクセンサが得られることがわかる。更に、式(II)で表わされる各種組成の非晶質合金に、前記と同様にしてレーザービームを照射することにより、非晶質の境界相をストライプ状に形成して磁気異方性を導入する。そして、第4図と同様なトルクセンサを作製する。これらのトルクセンサの感度を測定した結果を第2表に示す。

第 2 表

No	組 成	センサ感度 (mV/kgf-m)
12	$\text{Co}_{85}\text{Zr}_{10}\text{Fe}_5$	760
13	$\text{Co}_{98}\text{Zr}_2$	880
14	$\text{Co}_{70}\text{Hf}_5\text{Zr}_{10}\text{Fe}_{10}\text{Mo}_5$	500
15	$\text{Co}_{76.5}\text{Mn}_{8.5}\text{Nb}_{15}$	650
16	$\text{Co}_{87}\text{Cr}_3\text{Zr}_{10}$	420
17	$\text{Co}_{85}\text{Al}_5\text{Zr}_{10}$	350
18	$\text{Co}_{65}\text{Ti}_5\text{Mo}_{30}$	240

以上の例では、磁性体の主相が非晶質、境界相が非晶質又は結晶質の場合について説明した。しかし、磁性体の主相が結晶質、境界相が結晶質でもよい。以下、このような例について説明する。めっきにより、強磁性体 (S45C) からなる直径20mmの軸の表面の2個所に、 $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{50}$ なる組成を有する、幅10mm、厚さ15 μm の結晶質合金 (いわゆるパーマロイ) の薄膜からなる1対の磁性体を形成する。前記と同様に、YAGレーザを用い、スポット径100 μm のレーザビームを1m/minで走査させる操作を1mmピッチで繰り返して施す。この結果、結晶質の主相13とは異なる磁気特性を有する、結晶質の境界相14が形成され、これらの境界相14がストライプ状に配列された構造となる。主相は安定状態の結晶質相であり、境界相は準安定状態の結晶質相である。そして、レーザビーム照射方向が磁化容易軸方向となり、軸11の周方向に対して、磁性体12aでは+45°の方向に一軸磁気異方性 $\blacktriangle K^1_{100} \nabla$ が、磁性体12bでは-45°の方向に一軸磁気異方性 $\blacktriangle K^2_{100} \nabla$ が導入される。

第4図と同様なトルクセンサを作製し、トルクを検出した結果を第10図に示す。第10図から明らかなように、このトルクセンサの出力は、広いトルク範囲にわたって良好な直線性を示す。磁性体中の結晶質の境界相の割合と、センサ感度との関係を調べた結果を第11図に示す。第11図に示されるように、結晶質の境界相の割合が0又は1付近では感度が悪く、良好な感度を得るために最適な割合が存在する。磁性体中の結晶質の境界相の割合は、レーザビームの走査ピッチなどを変化させることにより、変化させることができる。

また、結晶質の磁性体からなる軸自体に、レーザビ-

ームを照射することにより、結晶質の境界相を形成してもよい。以下、このような例について説明する。前記と同様に、強磁性体 (S45C) からなる直径20mmの軸11の表面に、YAGレーザを用い、スポット径100 μm のレーザビームを1m/minで走査させる操作を1mmピッチで繰り返して施す。この結果、軸11自体を構成する結晶質の主相13とは異なる磁気特性を有する、結晶質の境界相14が形成され、これらの境界相14がストライプ状に配列された構造となる。主相は安定状態の結晶質相であり、境界相は準安定状態の結晶質相である。そして、第12図に示すように、レーザビーム照射方向が磁化容易軸方向となり、軸11の周方向に対して、12aの領域では+45°の方向に一軸磁気異方性 $\blacktriangle K^1_{100} \nabla$ が、12bの領域では-45°の方向に一軸磁気異方性 $\blacktriangle K^2_{100} \nabla$ が導入される。

第12図に示すトルクセンサを作製し、トルクを検出した結果を第13図に示す。第13図から明らかなように、このトルクセンサの出力はそれほど大きくないが、広いトルク範囲にわたって良好な直線性を示す。

実施例2

薄帯状の磁性体を局所加熱して磁気異方性を導入する方法について説明する。急冷ロール法により、

($\text{Fe}_{0.8}\text{Co}_{0.2}$) 78 Si8 B14

なる組成を有する磁歪定数 10^{-5} 程度の非晶質合金薄帯を作製する。

この磁性体に、第14図に示す装置を用い、磁気異方性を導入する。第14図において、テーブル101上にはガイドベース102が載せられている。薄帯状の磁性体12は、供給ロールから巻取ロール (いずれも図せず) により巻き取られ、ガイドベース102上を移動する。テーブル101

上には支柱103が取り付けられ、この支柱103にボールネジ104が回転自在に取り付けられ、ガイドレール105が固定されている。ボールネジ104には光学系106が連結され、この光学系106はガイドレール105に沿って移動する。光学系106の内部にはミラー107及びレンズ108が設けられている。磁性体12の移動はセンサ109を介して移動検出器110によって検出される。光学系106の移動は、ボールネジ104を回転させるサーボモータ111をサーボモータコントローラ112で制御することにより制御される。YAGレーザ113から放射されるレーザビーム114は、ミラー107で反射され、レンズ108で集束されて磁性体12に照射される。この際、磁性体12の酸化劣化を防止するために、光学系106内にはガス供給系115からArガスが導入される。以上の各部材は操作盤117での設定に従い、コントローラ116により制御される。なお、図中の55は後述する実施例4で用いられる電磁石であるが、この例では使用されない。

この場合、磁性体12上でレーザビームのスポット径を $100\mu\text{m}$ とし、 $3\text{m}/\text{min}$ の走査速度で連続的に走査する操作を、所定方向に沿って 1mm ピッチで繰り返す。この結果、主相とは異なる磁気特性を有する、非晶質の境界相が形成され、これらの境界相がストライプ状に配列された構造となる。

第15図は、得られた磁性体に、レーザビームの走査方向（境界相が延びる方向）に対して直交する方向に磁界を印加した後、磁界を0近傍に戻し、縦力効果を用いた磁区観察装置で観察される磁区構造を示す写真である。第15図に示されるように、第2図のモデルと同様な磁区パターンが形成されている。

このようにして磁気異方性が導入された薄帯状の磁性体を、軸に接着することにより、第4図と同様なトルクセンサを作製することができる。

実施例3

薄帯状の磁性体を局所加熱して、磁気異方性を導入する、他の方法について説明する。

第16図に示すように、図示しない供給ロールと巻取ロールとの間に、薄帯状の磁性体12を移動可能に支持する。電源121に接続された赤外ランプ122から直接放射される赤外線及び集光ミラー123で反射される赤外線124を、スリット板125に設けられたスリット126を通して磁性体12に照射する。

この場合、磁性体12を移動させながら、赤外ランプ122のオン・オフを繰り返すことにより、ストライプ状に配列された境界相を形成することができる。

また、第17図に示すように、スリット板125の一方の面に、スリット128を有するシャッター127を移動可能に支持する。赤外線124はスリット板125のスリット126と、シャッター127のスリット128とが重なった部分を通して、磁性体12にスポット状に照射される。赤外線124のスポットは、磁性体12の移動と、シャッター127の移

動に応じて走査される。

実施例4

磁性体を磁場中で局所加熱して磁気異方性を導入する方法について説明する。この方法は、基本的には実施例1～3で用いたのと同様な装置を用いて行われる。

RFマグネトロンスパッタ装置に、特殊形状のターゲットをセットし、強磁性体(S45C)からなる直径 20mm の軸の表面の2個所に、

Co₈₈Zr₁₀Fe₂

なる組成を有する、幅 10mm 、厚さ $15\mu\text{m}$ の非晶質合金薄膜からなる1対の磁性体を形成する。

第18図に示すように、第1図の装置に電磁石55を加えた装置を用いて、これらの磁性体に磁気異方性を導入する。電磁石55により磁性体12に直流磁界を印加し、軸11を回転させかつ長さ方向へ移動させながら、レーザ51から放射されるレーザビーム52を、ミラー53で反射させ、レンズ54で集束させて軸11の表面の磁性体12a、12bに照射する。

この場合、レーザビームのスポット径を $50\mu\text{m}$ とし、 $5\text{m}/\text{min}$ の走査速度で連続的に照射する。レーザビームの走査方向は、軸11の周方向に対して、磁性体12aでは $+45^\circ$ 、磁性体12bでは -45° の方向とし、前述した操作を 1mm ピッチで繰返す。電磁石54による磁界の方向もこれと同一の方向とする。この結果、非晶質の主相13とは異なる磁気特性を有する、非晶質の境界相14が形成され、これらの境界相14がストライプ状に配列された構造となる。

第4図と同様なトルクセンサを作製し、トルクを検出した結果を第19図に示す。第19図から明らかなように、このトルクセンサの出力は、広いトルク範囲にわたって良好な直線性を示す。

磁性体を磁場中で局所加熱して磁気異方性を導入する、他の方法について説明する。

前述した第14図に示すように、磁性体12の近傍に電磁石55を設置し、磁性体12に所定方向に沿って磁界を印加した状態で、レーザビームを走査させて、磁気異方性を導入してもよい。

また、第20図に示すように、第16図の装置に電磁石55を加えた装置を用いて、磁性体12に所定方向に沿って磁界を印加した状態で、スリット126を通して赤外線を照射させて、磁性体に磁気異方性を導入してもよい。

実施例5

磁性体に応力を印加した状態で、局所加熱して磁気異方性を導入する方法について説明する。

急冷ロール法により、

(Fe_{0.8}Co_{0.2})₇₈Si₈B₁₄

なる組成を有する磁歪定数 10^{-5} 程度の非晶質合金薄帯を作製する。

第21図に示す装置を用いて、薄帯状の磁性体に磁気異方性を導入する。第21図において、磁性体12は、XY方向

に移動可能ステージ131上に設けられた、供給ローラ132、磁性体固定用の二軸ローラ133、134及び巻取ローラ（図示せず）により移動可能に支持されている。一方の二軸ローラ134の支持部材には、荷重135が取り付けられ、二軸ローラ133、134間に固定された磁性体12に引張り応力が印加されるようになっている。磁性体12には、レーザ51からレーザビームが照射される。なお、ステージ131は回転できるようにしてもよい。

この場合、荷重135により磁性体12に 10kg/mm^2 の引張り応力を印加した状態で、レーザビームのスポット径を $50\mu\text{m}$ とし、ステージ131を移動させることにより、所定方向に 3m/min の走査速度で連続的に走査させる。この操作を 1mm ピッチで繰返す。この結果、局所加熱により導入された内部応力だけでなく、荷重による応力が加わり、磁性体12に応力誘起磁気異方性が導入される。

このようにして所定方向に磁気異方性が導入された薄帯状の磁性体を、軸に接着することにより、第4図と同様なトルクセンサを作製する。このトルクセンサにより、トルクを検出した結果を第22図に示す。第22図から明らかなように、このトルクセンサの出力は、広いトルク範囲にわたって良好な直線性を示す。

磁性体に応力を印加した状態で、局所加熱して磁気異方性を導入する、他の方法について説明する。

第23図に示すように、XY方向に移動可能なステージ131上に、固定治具136により、磁性体12の4辺を機械的に押さえ、磁性体12にレーザ51から固定治具136に設けられた開口137を通してレーザビームを照射するようにしてもよい。このような方法でも、レーザビームの照射領域が溶融凝固する際に、結果的に磁性体12に応力が印加され、応力誘起磁気異方性が導入される。

また、第14図、第16図、又は第17図の装置において、薄帯状の磁性体12を支持している2個のローラ（図示せず）のうち、巻取りローラがやや速く回転するように設定して、磁性体に引張り応力が印加されるようにしてもよい。このとき、ローラはローラ軸方向にスライドできるようにすることが好ましい。

変形例として、第21図、第23図に示すように、電磁石55を設け、磁性体12に応力を印加するとともに、磁場を印加してもよい。このような方法では、局所加熱と磁場による誘導磁気異方性及び応力誘起磁気異方性が合成されて、複雑な磁気異方性を導入することもできる。なお、磁場の方向は、応力の方向に対して任意の角度をなすように設定できることが好ましい。

実施例 6

磁性体の化合物が生成される雰囲気中で、磁性体を局所加熱して磁気異方性を導入する方法について説明する。

RFマグネトロンスパッタ装置に、特殊形状のターゲットをセットし、強磁性体（S45C）からなる直径 20mm の軸の表面の2個所に、

$\text{Fe}_{67}\text{Co}_{18}\text{Si}_{14}\text{B}_{4}$

なる組成を有する、磁歪定数 3.5×10^{-5} 程度の非晶質合金薄膜からなる1対の磁性体を形成する。

第24図に示すように、第1図の装置に酸素ガスを放出するノズル56を加えた装置を用いて、これらの磁性体に磁気異方性を導入する。ノズル56から純度95%の酸素ガスを吹き付け、軸11を回転させかつ長さ方向へ移動させながら、レーザ51から放射されるレーザビーム52を、ミラー53で反射させ、レンズ54で集束させて軸11の表面の磁性体12a、12bに照射する。この場合、レーザビームのスポット径を $100\mu\text{m}$ とし、 1m/min の走査速度で連続的に照射する。レーザビームの走査方向は、軸11の周方向に対して、磁性体12aでは $+45^\circ$ 、磁性体12bでは -45° の方向とし、前述した操作を 1mm ピッチで繰返す。この結果、レーザビームが照射された領域では、酸化物を含む境界相16が形成され、これらの境界相16がストライプ状に配列された構造となる。酸化物としては、溶融凝固した Fe-Co-Si-B-O なる組成の非晶質相、 Fe_2O_3 、 Fe_3O_4 、 CoO などの微結晶からなる多結晶相が含まれる。そして、レーザビーム走査方向が磁化容易軸方向となり、軸11の周方向に対して、磁性体12aでは $+45^\circ$ の方向に一軸磁気異方性 $\blacktriangle K^1_{100} \nabla$ が、磁性体12bでは -45° の方向に一軸磁気異方性 $\blacktriangle K^2_{100} \nabla$ が導入される。

第4図と同じ構造のトルクセンサを作製し、トルクを検出した結果を第25図に示す。第25図から明らかなように、このトルクセンサの出力は、広いトルク範囲にわたって良好な直線性を示す。

他の雰囲気中で、磁性体を局所加熱して磁気異方性を導入する方法について説明する。

磁性体として前述した非晶質合金の代わりにめっきにより $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{50}$ を形成し、酸素ガスの代わりに純度95%の窒素ガスを用いる以外は、前記と同様にして、磁性体に磁気異方性を導入する。この場合、窒化物を含む境界相が形成される。窒化物としては、溶融凝固した Fe-Ni-N なる組成の非晶質相、 FeN などの微結晶からなる多結晶相が含まれる。

以上説明したように、本発明の方法を用いれば、磁性体に十分な磁気異方性を容易かつ確実に導入することができる。この結果、例えば感度の高いトルクセンサを作製することができる。

なお、トルクセンサは、以上で説明したもの以外にも、以下のような構成を有するものが用いることができる。

第4図のトルクセンサでは励磁コイル14を用いたが、第26図に示すように励磁コイルを用いずに、第27図に示す回路構成でトルク検出を行ってもよい。第27図において、発振器21で発生された正弦波電流は増幅器22で増幅される。増幅器22の出力端には、検出コイル15aと抵抗 R_1 17aとの直列回路及び検出コイル15bと抵抗 R_2 （ $R_2 = R_1$ ）17bとの直列回路からなるブリッジ回路が接続され

ている。また、発振器21で発生された正弦波電流は参照信号発生器27に入力され、ここで発生した信号が位相検波器28に出力される。そして、ブリッジ回路の検出端には差動増幅器25が接続され、その出力が位相検波器28で検波されてトルクに応じた出力を得ることができる。

また、第28図に示すように検出コイル15a (15b) 及び励磁コイル16a (16b) が巻かれた磁気ヘッド18a (18b) を用い、第29図に示す回路構成でトルク検出を行ってもよい。第29図において、検出コイル15a、15bは差動接続されている。

また、本発明の方法により磁気異方性が導入された磁性体は、トルクセンサだけでなく、歪みセンサや電流センサなどにも応用することができる。

歪みセンサを第30図を参照して説明する。第30図において、コイル基板31の両面には、磁歪効果を有する磁性体12、12が、コイル基板31と絶縁された状態で設けられる。この磁性体12、12には、本発明の方法により、その長さ方向を磁化容易軸とする一軸磁気異方性が導入されている。コイル基板31は、可撓性を有する絶縁基板32の一方の面の上に、1対のコイル33a、33bを基板32の長さ方向に沿って設け、これらを端子34a、34b間に直列に接続したものである。すなわち、コイル33a、33bの内端ど

うしはスルーホールを通して基板32の裏面側に設けられた配線35により接続され、一方のコイル33aの外端は配線36aにより端子34aと接続され、他方のコイル33bの外端は配線36bにより端子34bと接続されている。この結果、コイル33a、33bには互いに逆方向の電流が流れ、コイル33a、33bは互いに逆向きの磁束を発生する。

端子34a、34b間に電流を流すと、コイル33a、33bで発生した磁束は、磁性体12、12の長さ方向に沿う磁路を通過する。磁性体12、12の長さ方向に引張り応力又は圧縮応力が作用すると、磁歪効果により誘導磁気異方性が発生し、その結果透磁率の変化が生じる。この透磁率の変化は、コイル33a、33bの合成インダクタンスの変化として現われるので、歪みの大きさを検出することができる。

電流センサを第31図を参照して説明する。第31図において、円柱状のコア41の表面には、本発明の方法により所定方向に一軸磁気異方性が導入された磁性体12が形成されている。この磁性体12の近傍には、測定される電流が流れるコイル42及び検出コイル43が巻かれている。

コイル42に電流が流れると、磁性体12の磁気特性が変化する。この変化に応じて、検出コイル43のインピーダンスが変化する

ので、コイル42に流れる電流の大きさを検出することができる。

更に、本発明の方法により磁気異方性が導入された磁性体は、各種センサだけでなく、磁気コアなどにも応用することができる。例えば、長尺の薄帯状磁性体の幅方向に線状の境界相を形成し、長さ方向にパターン化することにより、磁区を細分化できるので、ヒステリシスを

低減することができる。この磁性体を巻いてトロイダルコアを作製すると、低損失化が実現できる。この場合、磁性体が低磁歪又はゼロ磁歪を示す組成であれば、より低損失化することができ、高周波領域まで使用することができる。

【発明の効果】

以上詳述したように本発明の方法を用いれば、磁性体に十分な磁気異方性を容易かつ確実に導入することができる。

10 【図面の簡単な説明】

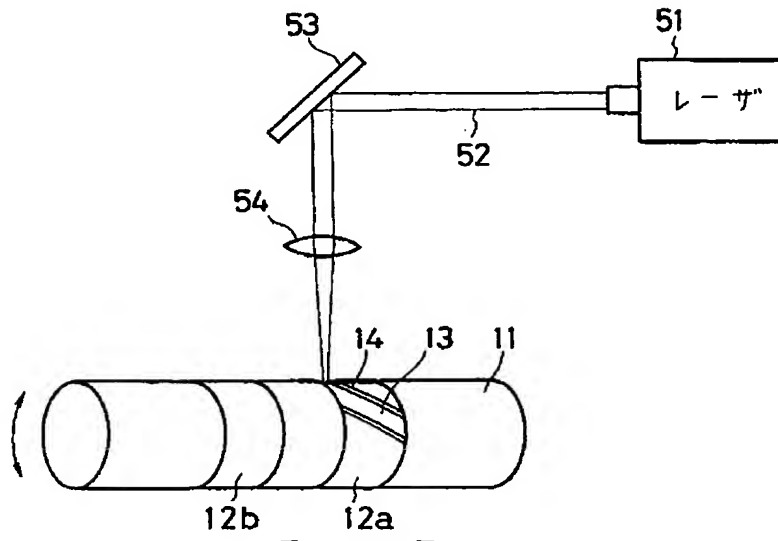
第1図は本発明の実施例1において磁性体に磁気異方性の導入するために用いられる装置を示す図、第2図は本発明の実施例1において磁気異方性が導入された磁性体の磁区のモデルを示す図、第3図は本発明の実施例1において作製されるトルクセンサの原理を説明する図、第4図は本発明の実施例1において作製されたトルクセンサの構成を示す図、第5図は本発明の実施例1において作製されたトルクセンサの回路構成を示すブロック図、第6図は本発明の実施例1において作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第7図は本発明の実施例1において作製されたトルクセンサについて、レーザビームの走査速度と感度との関係を示す図、第8図は本発明の実施例1において他の磁性体を用いて作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第9図は本発明の実施例1において他の磁性体を用いて作製されたトルクセンサについて、レーザビームの走査速度と感度との関係を示す図、第10図は本発明の実施例1において更に他の磁性体を用いて作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第11図は本発明の実施例1において更に他の磁性体を用いて作製されたトルクセンサについて、境界相の割合と感度との関係を示す図、第12図は本発明の実施例1において軸を構成する磁性体に磁気異方性を導入することにより作製されたトルクセンサの構成を示す図、第13図は本発明の実施例1において軸を構成する磁性体に磁気異方性を導入することにより作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第14図は本発明の実施例2において磁性体に磁気異方性の導入するために用いられる装置を示す図、第15図は本発明の実施例2において磁気異方性が導入された磁性体の金属組織を示す写真、第16図は本発明の実施例3において磁性体に磁気異方性の導入するために用いられる装置を示す図、第17図は本発明の実施例3において磁性体に磁気異方性の導入するために用いられる他の装置を示す図、第18図は本発明の実施例4において磁性体に磁気異方性の導入するために用いられる装置を示す図、第19図は本発明の実施例4において作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第20図は本発明の実施例4において磁性体に磁気異方性の導入するために用いられる他の装置を示す図、第21図は本発明の実施例5において磁性体に磁気異方性の導入するために用いられる装置を示す

図、第22図は本発明の実施例5において作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第23図は本発明の実施例5において磁性体に磁気異方性の導入するために用いられる他の装置を示す図、第24図は本発明の実施例6において磁性体に磁気異方性の導入するために用いられる装置を示す図、第25図は本発明の実施例6において作製されたトルクセンサのトルク検出特性を示す図、第26図は他のトルクセンサの構成を示す図、第27図は他のトルクセンサの回路構成を示すブロック図、第28図は更に他のトルクセンサの構成を示す図、第29図は更に他のトルクセンサの回路構成を示すブロック図、第30図は歪みセンサの構成を示す図、第31図は電流センサの構成を示す図である。

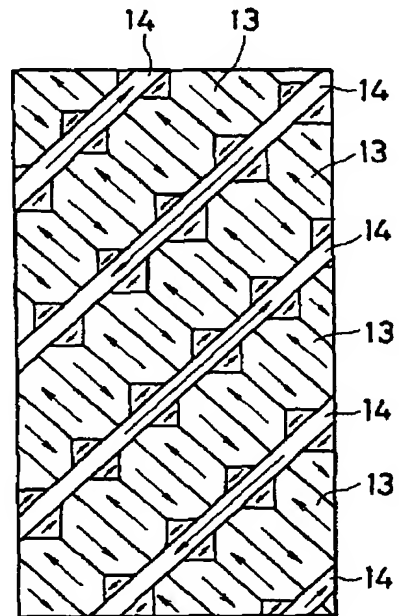
12……磁性体、13……主相、14……境界相、51……レー

ザ発振器、52……レーザービーム、53……ミラー、54……レンズ、55……電磁石、56……ノズル、101……テーブル、102……ガイドベース、103……支柱、104……ボールネジ、105……ガイドレール、106光学系、107……ミラー、108……レンズ、109……センサ、110……移動検出器、111……サーボモータ、112……サーボモータコントローラ、113……YAGレーザー、114……レーザービーム、115……ガス供給系、116……コントローラ、117……操作盤、121……電源、122……赤外線ランプ、123……集光ミラー、124……赤外線、125……スリット板、126……スリット、127……シャッター、128……スリット、131……ステージ、132……供給ローラ、133、134……二軸ローラ、135……荷重、136……固定治具、137……開口。

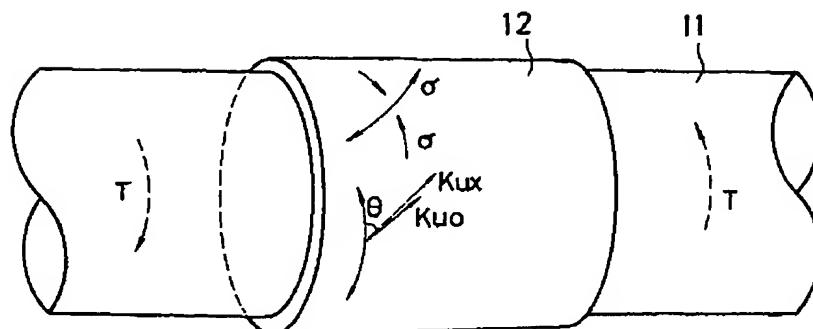
【第1図】



【第2図】



【第3図】



同期検波器

増幅器

発振器

21

22

15a

15b

16

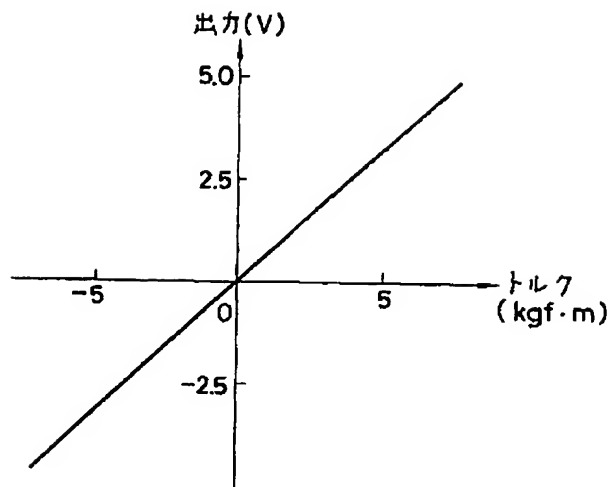
23

24

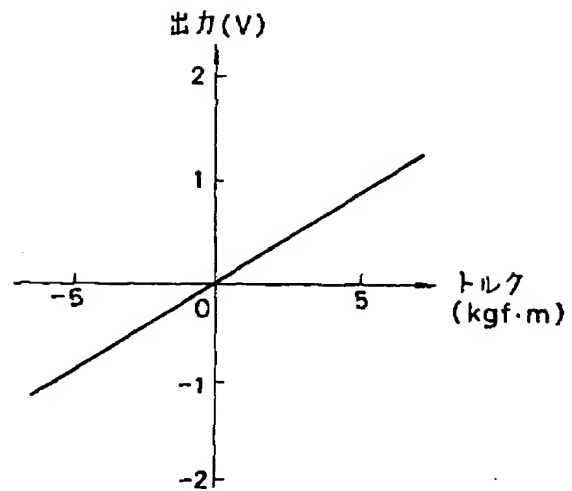
25

26

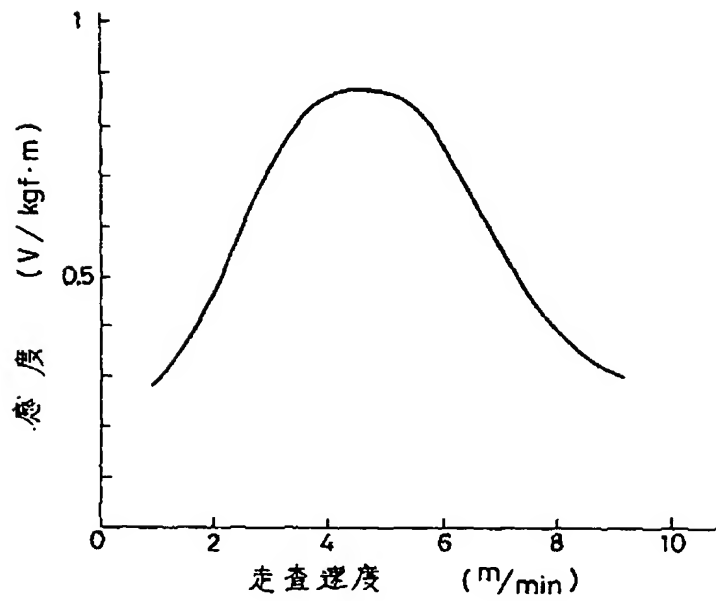
【第6図】



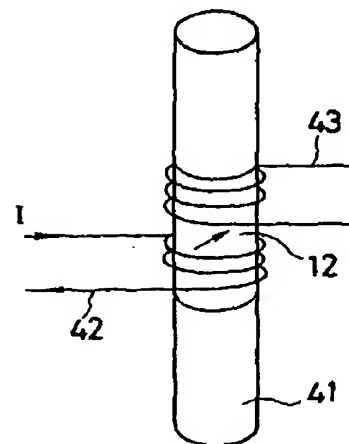
【第13図】



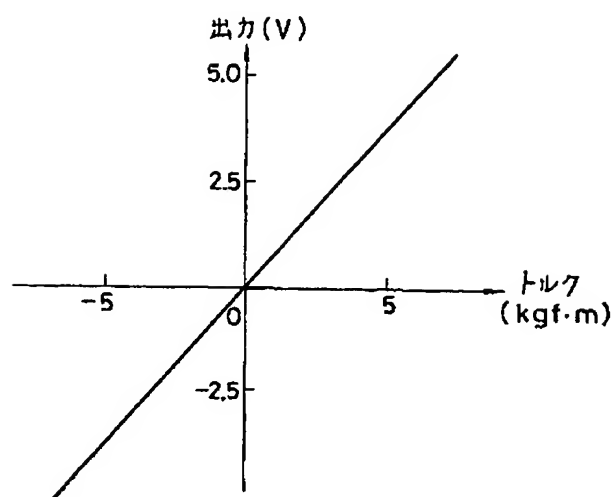
【第7図】



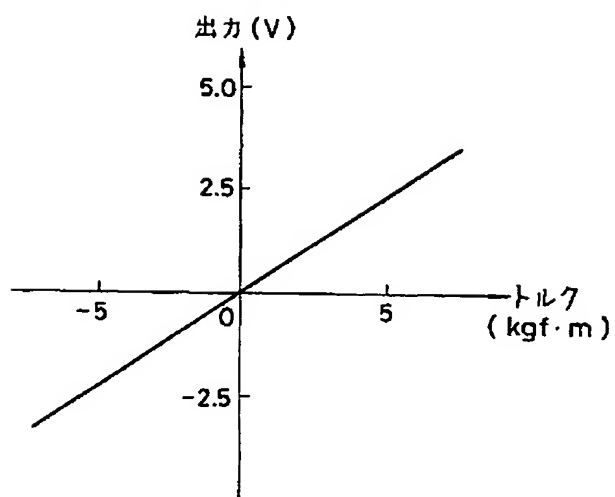
【第31図】



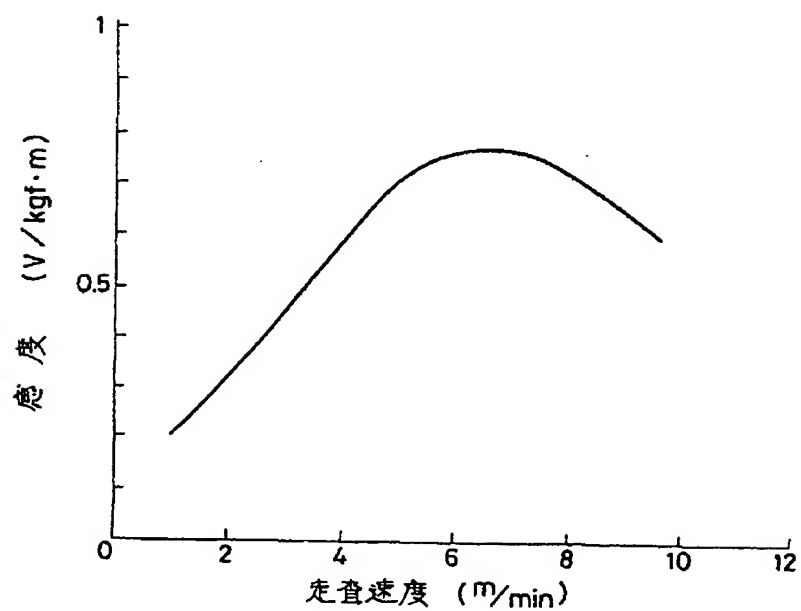
【第8図】



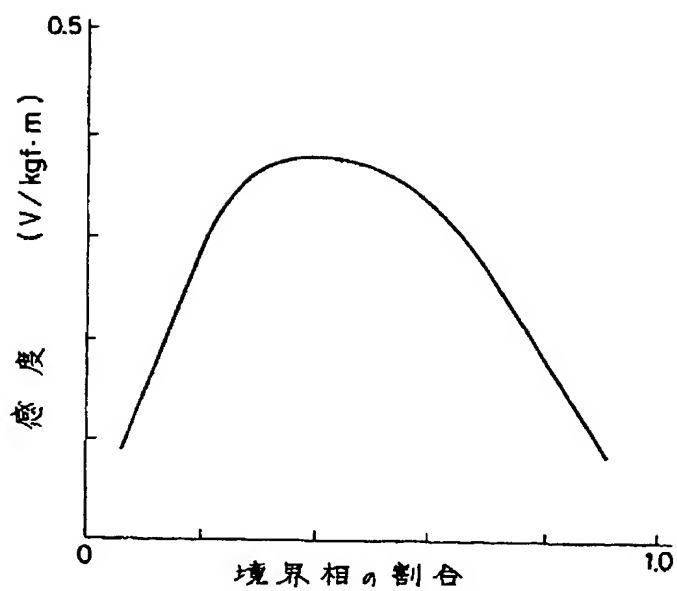
【第10図】



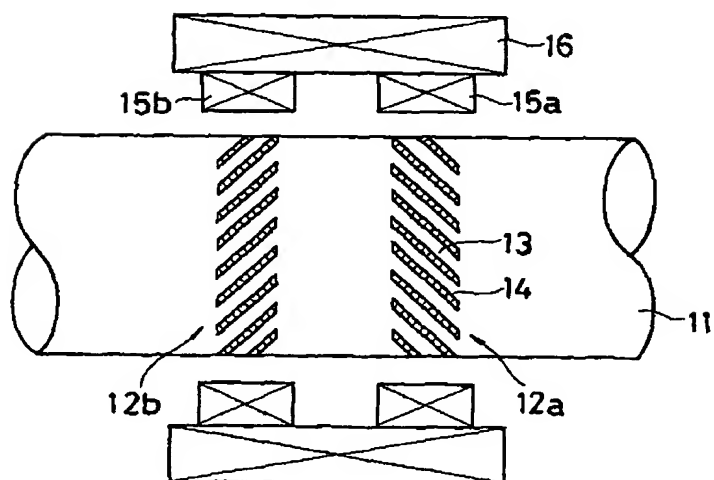
【第9図】



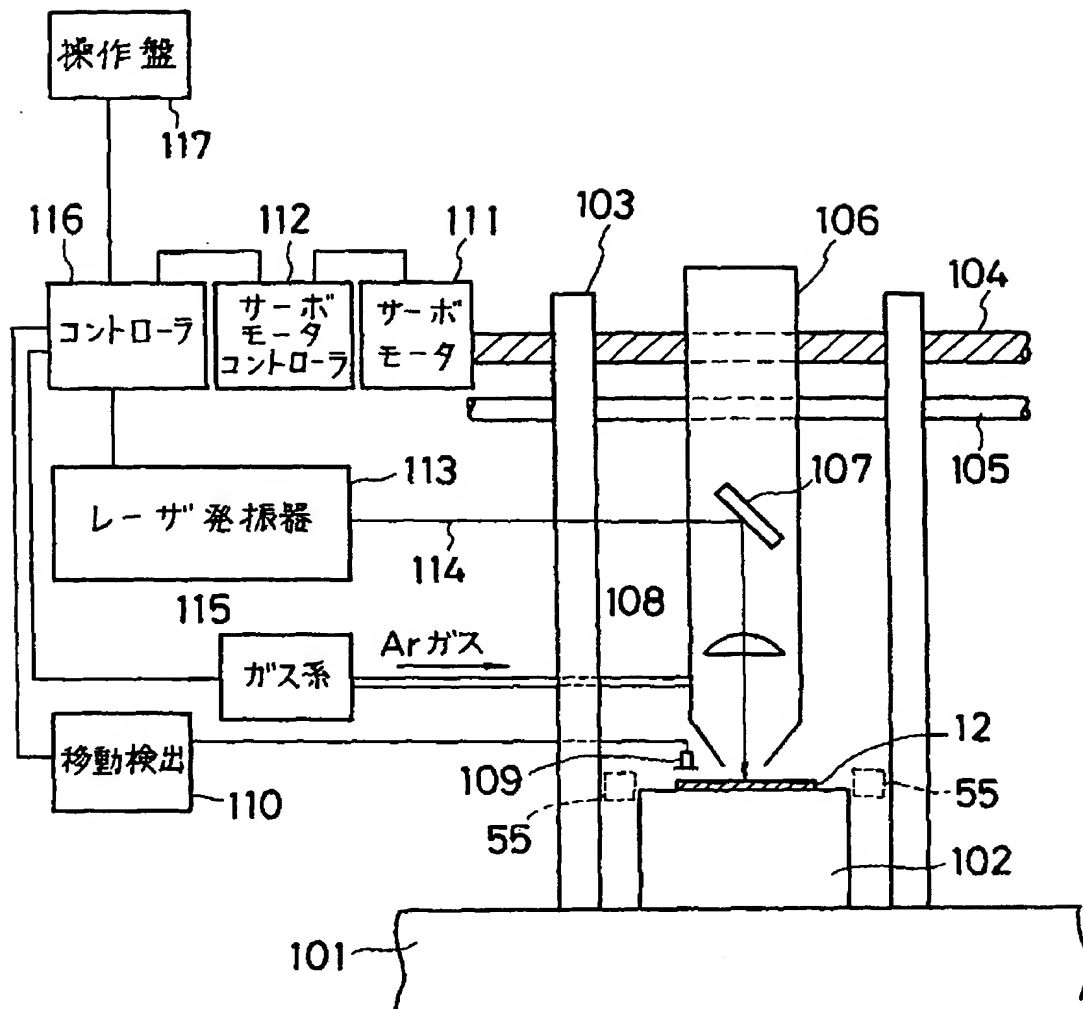
【第11図】



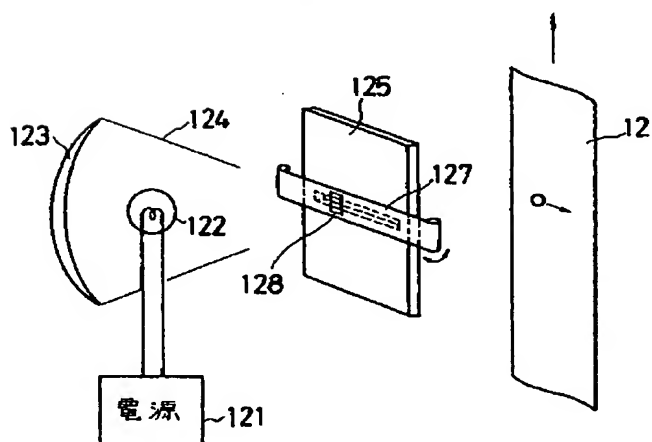
【第12図】



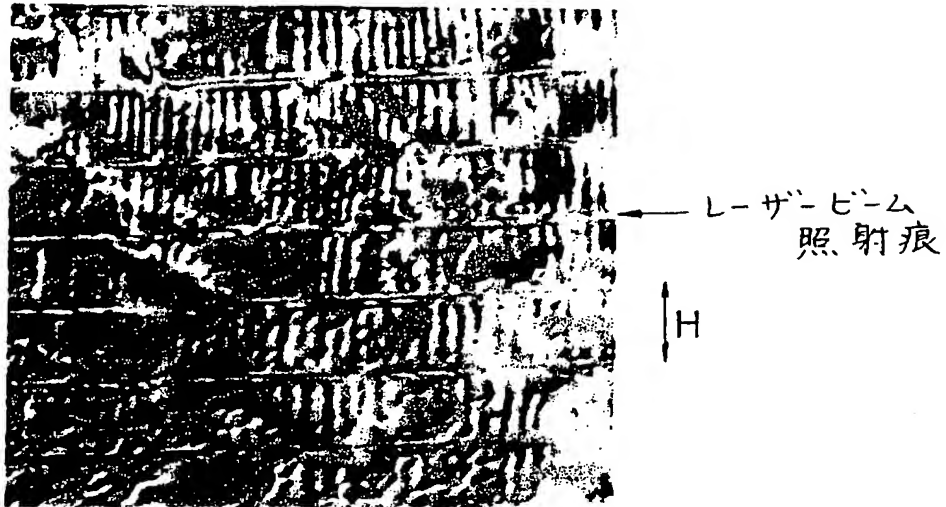
【第14図】



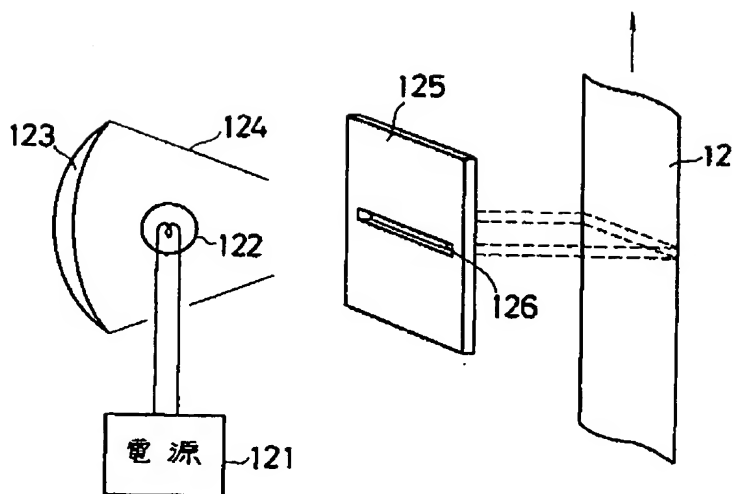
【第17図】



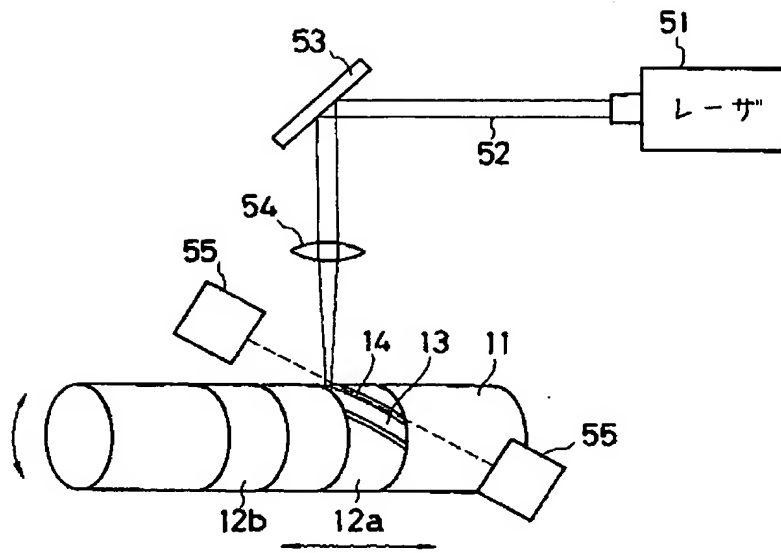
【第15図】



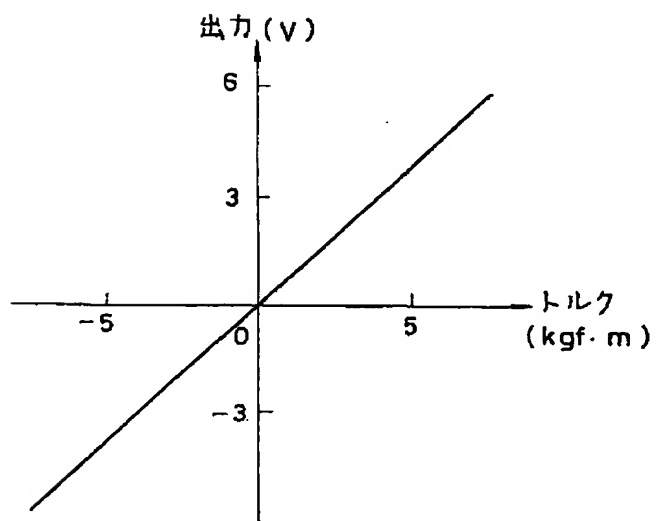
【第16図】



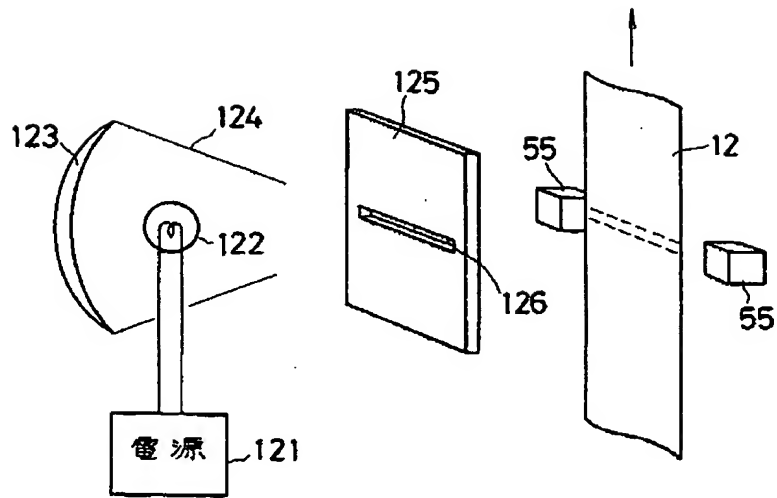
【第18図】



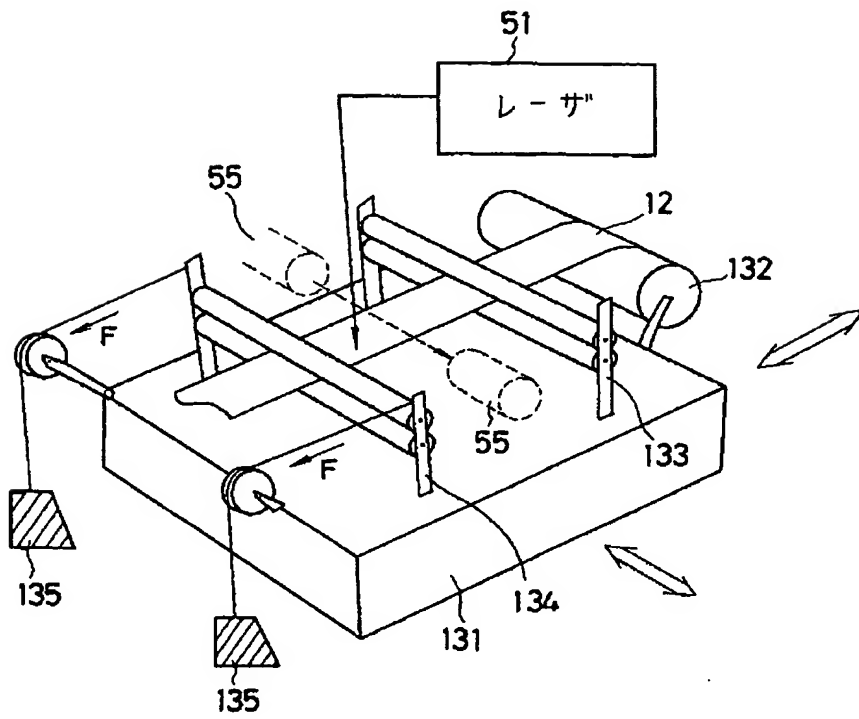
【第19図】



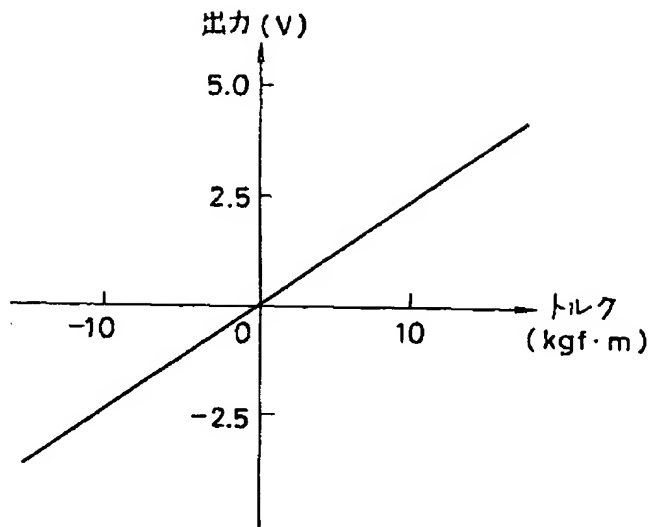
【第 2 0 図】



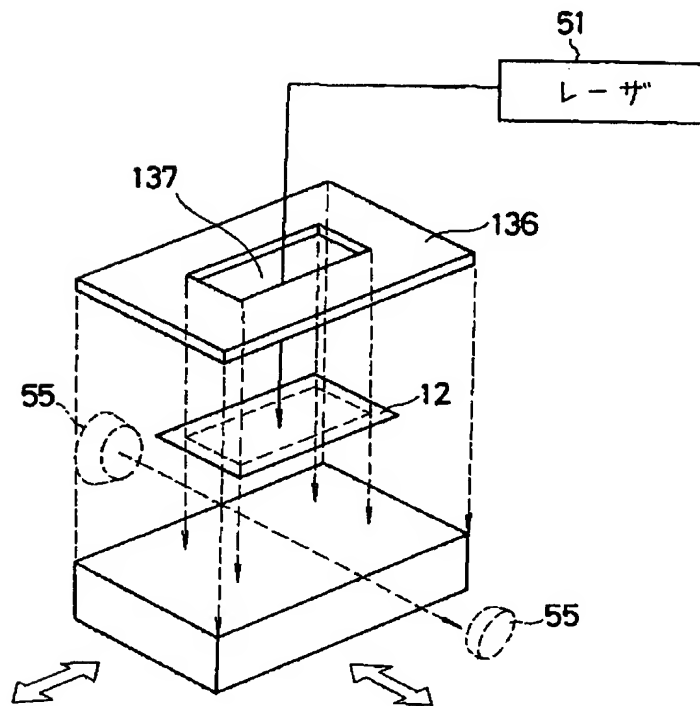
【第 2 1 図】



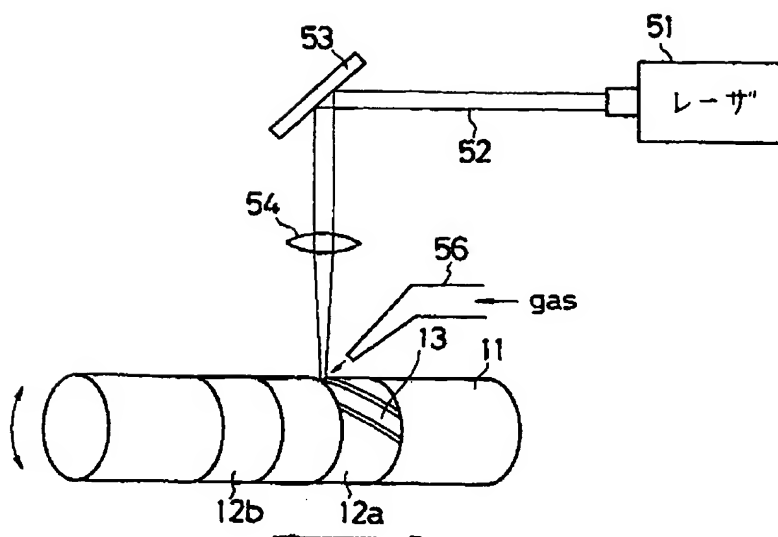
【第 2 2 図】



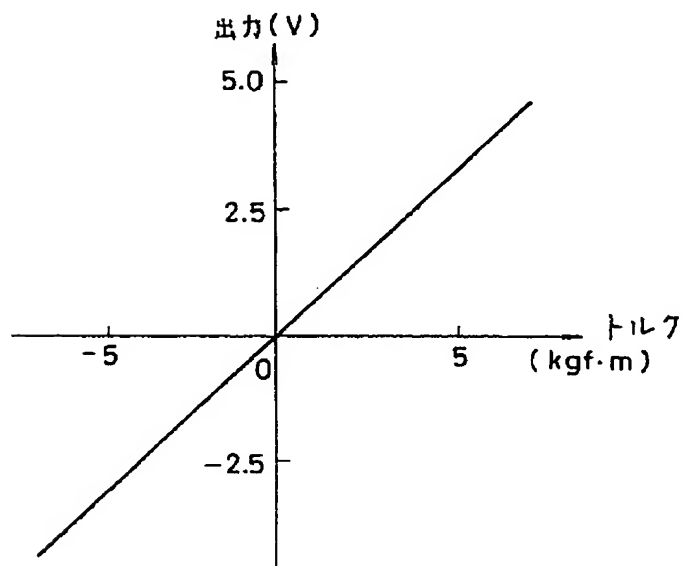
【第 2 3 図】



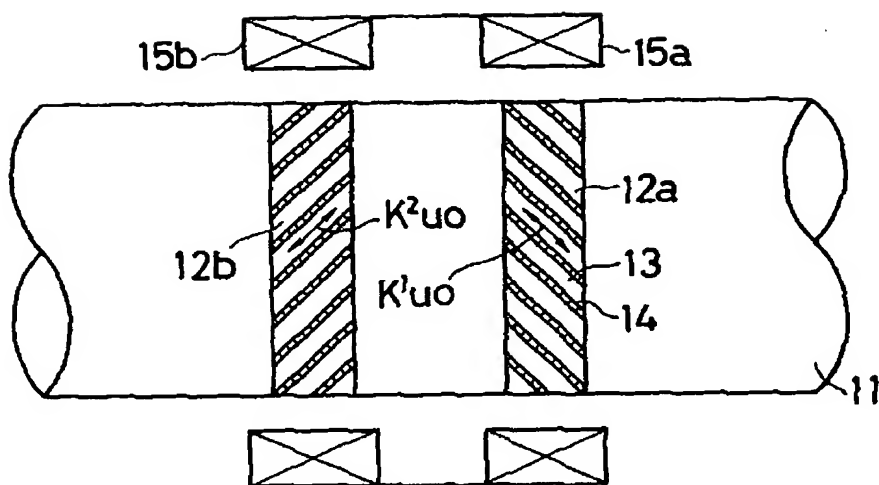
【第 2 4 図】



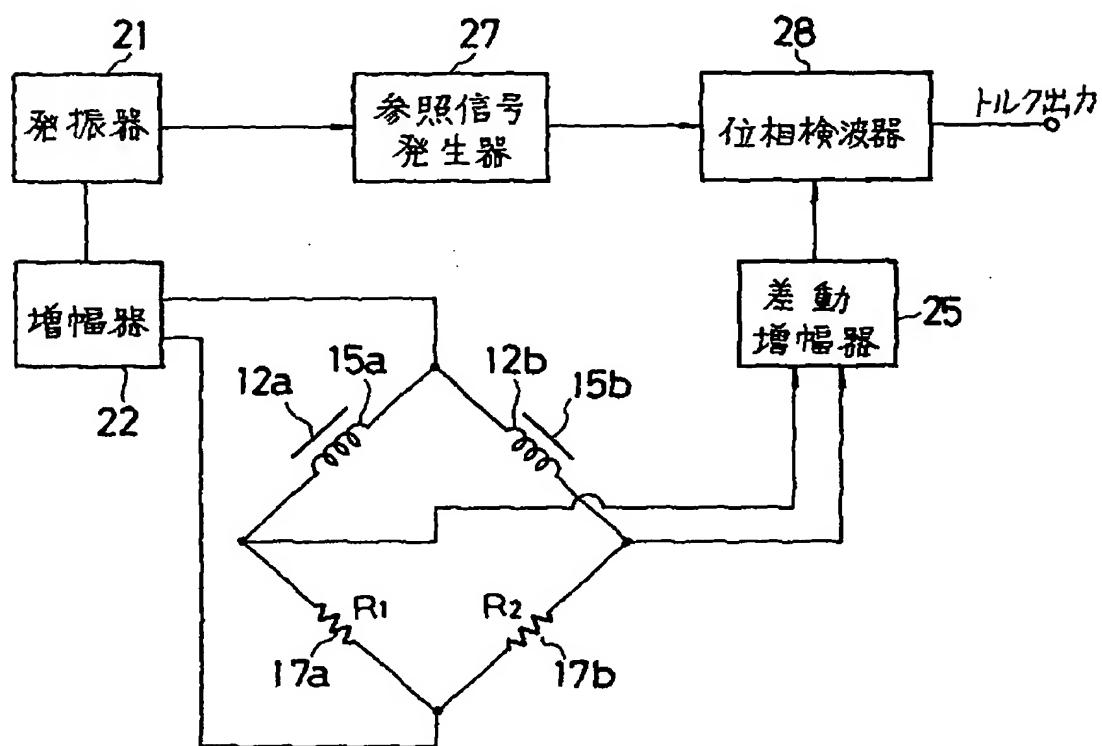
【第 2 5 図】



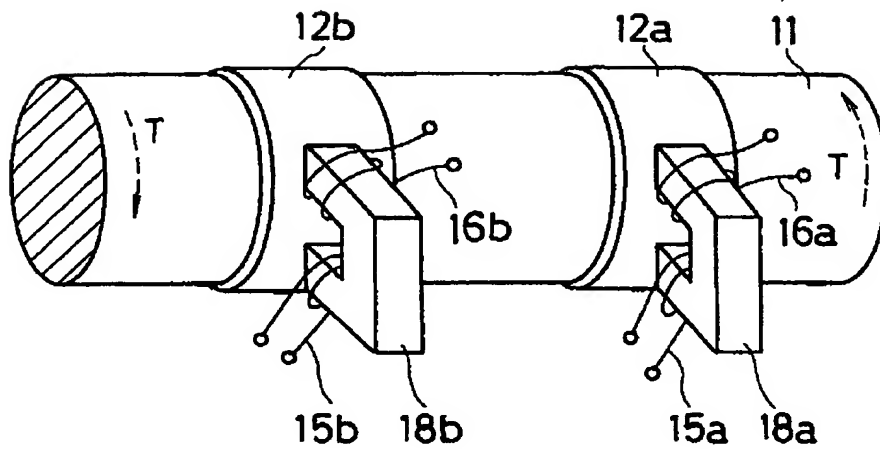
【第26図】



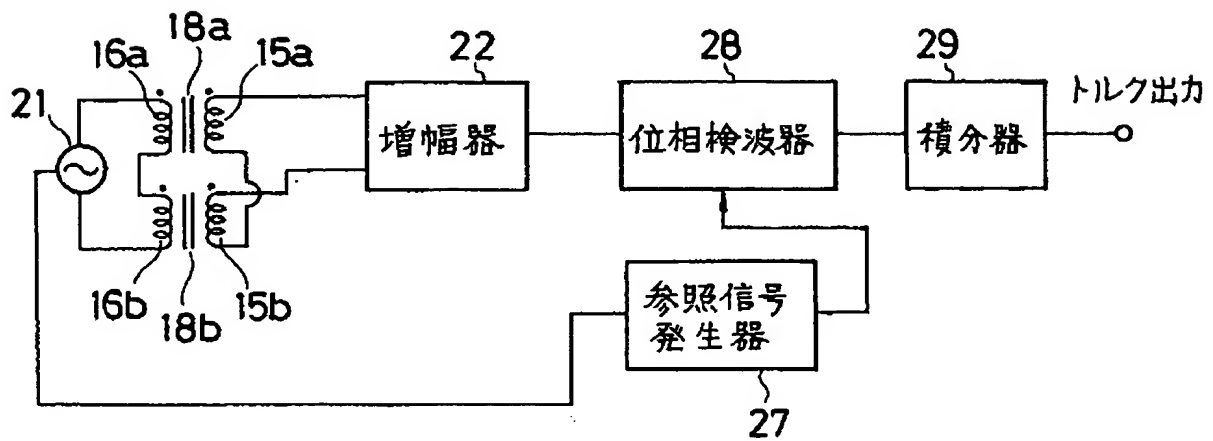
【第27図】



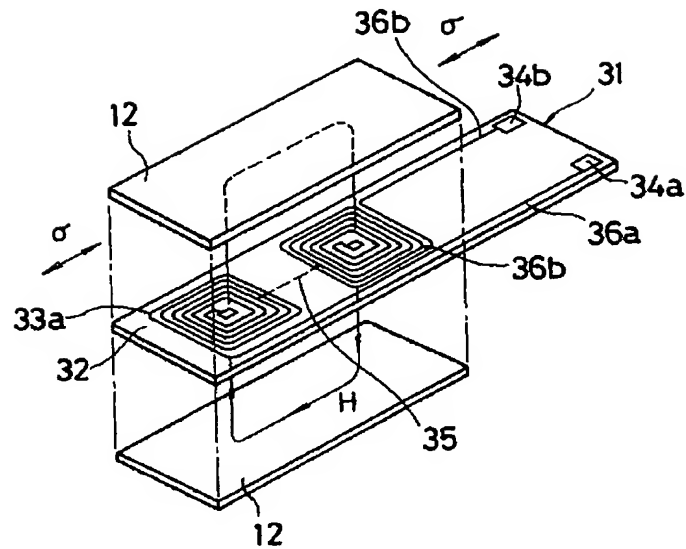
【第28図】



【第29図】



【第 3 0 図】



フロントページの続き

(31) 優先権主張番号 特願平1-297733
 (32) 優先日 平1(1989)11月17日
 (33) 優先権主張国 日本(JP)
 (31) 優先権主張番号 特願平1-298941
 (32) 優先日 平1(1989)11月17日
 (33) 優先権主張国 日本(JP)
 (31) 優先権主張番号 特願平2-38263
 (32) 優先日 平2(1990)2月21日
 (33) 優先権主張国 日本(JP)

(31) 優先権主張番号 特願平2-84656
 (32) 優先日 平2(1990)3月30日
 (33) 優先権主張国 日本(JP)

(56) 参考文献 特開 平1-117378(JP, A)
 特開 昭59-61732(JP, A)
 特開 昭61-173128(JP, A)

(58) 調査した分野(Int.Cl.⁶, DB名)
 H01L 41/00 - 41/26